

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2004年7月15日 (15.07.2004)

PCT

(10) 国際公開番号  
WO 2004/059015 A1

(51) 国際特許分類: C21D 7/06, B24C 1/10

(21) 国際出願番号: PCT/JP2003/016669

(22) 国際出願日: 2003年12月25日 (25.12.2003)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:  
特願2002-374610 2002年12月25日 (25.12.2002) JP  
特願2003-421143 2003年12月18日 (18.12.2003) JP

(71) 出願人(米国を除く全ての指定国について): 新東工業株式会社 (SINTOKOGIO, LTD.) [JP/JP]; 〒450-0002 愛知県名古屋市中村区名駅三丁目28番12号 Aichi (JP).

(72) 発明者; および  
(75) 発明者/出願人(米国についてのみ): 梅本 実 (UMEMOTO, Minoru) [JP/JP]; 〒441-8122 愛知県豊橋市天伯町字雲雀ヶ丘1-1 豊橋技術科学大学内 Aichi (JP). 土谷 浩一 (TSUCHIYA, Kouichi) [JP/JP]; 〒441-8122 愛知県豊橋市天伯町字雲雀ヶ丘1-1 豊橋技術科学大学内 Aichi (JP). 戸高 義一 (TODAKA, Yoshikazu) [JP/JP]; 〒441-8122 愛知県豊橋市天伯町字雲雀ヶ丘1-1 豊橋技術科学大学内 Aichi (JP). 梅村 貢 (UMEMURA, Mitsugi) [JP/JP]; 〒442-0061 愛知県豊川市穂ノ原三丁目1番地 新東工業株式会社豊川製作所内 Aichi (JP). 加賀 秀明 (KAGA, Hideaki) [JP/JP];

(74) 代理人: 山崎 行造, 外 (YAMASAKI, Yukuzo et al.); 〒100-0014 東京都千代田区永田町一丁目11番28号 相互永田町ビルディング8階 山崎法律特許事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国(国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(広域): ARIPO 特許 (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:  
— 国際調査報告書

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイドスノート」を参照。

(54) Title: METHOD OF REFINING METAL SURFACE AND METAL PRODUCT BY THE METHOD

(54) 発明の名称: 金属表面の微細化方法及びその金属製品

(57) Abstract: A method of refining a metal surface capable of producing crystal grains with grain sizes of less than 1  $\mu$ m on the surface part of a metal product and the metal product treated by the method. Shot materials or impact objects are projected or impacted against the surface of the metal product with a power per unit area adjusted to produce the crystal grains with grain sizes of less than 1  $\mu$ m on the surface part of the metal product.

(57) 要約: 金属製品の表面部に1  $\mu$ mより小さい粒径の結晶粒を発生させる金属表面の微細化方法及びこの方法により処理された金属製品を提供する。ショット材・衝突物を金属製品の表面に対して単位面積当たりの仕事率を調整して投射又は衝突させて、前記金属製品の表面部に1  $\mu$ mより小さい粒径の結晶粒を発生させる。

WO 2004/059015 A1

## 明細書

## 金属表面の微細化方法及びその金属製品

## 技術分野

本発明は、金属表面に  $1 \mu m$  より小さい粒径の結晶粒を発生させる金属表面の微細化方法及びその金属製品に関する。

## 背景技術

従来、ショットピーニングにより、ショットが投射された金属表面部の組織が微細化することは公知である（非特許文献1参照）。非特許文献1には、ショットピーニングによって形成される高転位密度表面層における微細結晶粒界サイズを有する微細組織は、疲労性質の向上に明らかに有益である旨の記載がある。

ここで非特許文献1とは、以下のものを言う。

エ・ニク・ラリ (A. NIKU-LARI) 編、「第1回ショットピーニング国際会議 (First International Conference on Shot Peening)」(英国)、ペガモン・プレス (Pergamon Press)、1981年、p. 192

## 発明の開示

しかし、この非特許文献1には粒径が  $1 \mu m$  より小さい結晶粒の発生についての記載はない。したがって、この非特許文献1では粒径が  $1 \mu m$  より小さい結晶粒の発生機構及び発生条件が明らかではない。

本発明は、上記問題に鑑みなされたものであり、その目的は、金属製品の表面部に  $1 \mu m$  より小さい粒径の結晶粒を発生させる金属表面の微細化方法を提供することである。また、本発明の別の目的は、この方法により処理された金属製品を提供することである。

上記の目的を達成するため、本発明の金属表面の微細化方法は、ショット材・衝突物を金属製品の表面に対して単位面積当たりの仕事率を調整して投射又は衝突させて、前記金属製品の表面部に  $1 \mu m$  より小さい粒径の結晶粒を発生させることを特徴とする。

本発明によれば、金属製品の表面部に  $1 \mu m$  より小さい結晶粒径の結晶粒を発生させることにより、金属製品の疲労強度、硬度上昇及び耐食性の向上を期待できる。

上記の説明から明らかなように本発明は、ショット材・衝突物を金属製品の

表面に対して単位面積当たりの仕事率を調整して投射又は衝突させて、前記金属製品の表面部に  $1 \mu m$  より小さい粒径の結晶粒を発生させることを特徴とするもの及びこれにより処理された金属製品であるから、金属製品の表面部に  $1 \mu m$  より小さい結晶粒径の結晶粒を発生させて、金属製品の疲労強度、硬度上昇及び耐食性の向上を図ることができる。

#### 図面の簡単な説明

図 1 は、第 1 実施例の粒子衝撃装置の概要を示す断面図である。

図 2 は、第 2 実施例の落錘加工装置の概要を示す断面図である。

図 3 は、第 3、第 4 実施例のショットピーニング装置の概要を示す断面図である。

図 4 は、本発明により生成した表面層の断面写真である。

図 5 は、本発明により生成した結晶微細化部の拡大写真である。

#### 発明を実施するための最良の形態

以下、本発明を実施するための最良の形態を説明する。本発明は、ショット材・衝突物を金属製品の表面に対して単位面積当たりの仕事率を調整して投射又は衝突させて、前記金属製品の表面部に  $1 \mu m$  より小さい粒径の結晶粒を発生させることを特徴とする金属表面の微細化方法である。

ここで本発明における金属製品とは、鉄鋼材料、非鉄金属材料であるかを問わない。また本発明の金属製品の表面とは、ショット材・衝突物の衝突により影響を受ける最表面に近い表面部分のことをいう。このショット材・衝突物の衝突による影響深さは、金属製品の表面にショット材・衝突物が衝突する時の速度、質量、投射時間により変化する。

また、本発明においてショット材・衝突物は、その硬度が金属製品の硬度と同等以上であることが好ましい。同等以上とは、金属表面部の硬化を生じさせることのできる硬さであればよく、金属製品の硬度よりも小さなものでもよい趣旨である。

さらに、本発明において単位面積あたりの仕事率を調整してショット材・衝突物を金属製品に投射させるのは次の理由による。

上記非特許文献 1 によれば、ショットピーニングにより金属表面が微細化するのは、転位密度とその配列、粒界サイズ、相変化などが原因であるとされるが、その根本原因は明らかではなかった。しかし、本発明においては、単位面積当たりの仕事率こそが、金属組織の微細化に資することを発見したのである。したがって、ショットピーニングのように必ずしも繰り返し金属表面に金属を衝突させなくてもナノ結晶の生成は可能である。

また、本発明において単位面積とはショット材・衝突物の接触面積の総和をいう。すなわち、投射された投射・衝突物痕（すなわちが接触面）が重なり合わないという条件のもとで、ショット材・衝突物1粒の接触面積に投射・衝突物が衝突する数を乗じて得た面積である。したがって、ショット材・衝突物痕が重なり合う場合にはショット材・衝突物痕の重なり合う回数により前記投射面積の総和を除して得た面積を使用する。この面積は正確には処理対象の金属製品の処理面積ではない。

ただし、一定の条件下で金属製品の処理面積を簡易的に代用しても良い。

まず実施例1について説明する。

本発明を実施するための装置の第1実施例を概略図として図1に示す。この粒子衝撃装置10により直径4mmの金属ボール11を、対象とする金属製品12の表面にノズル13を介して高圧ガスと共に高速衝突させて加工処理するものである。その際の加工条件及び処理結果を後述の表1に示す。この場合において、衝突は瞬時に終わるので衝突箇所の応力は非常に強くなる。すなわち、金属製品12の前記衝突箇所は金属ボール11により小さい面積が極めて短時間で強加工された状態になり、ナノ結晶の生成を確認することができる。

ナノ結晶の領域は、通常の加工硬化の領域、母材の領域に比べて加熱による粒成長が極めて遅いため、加熱することにより視覚的、硬度的に通常の加工硬化の領域、母材の領域と明確に区別することができる。加熱により通常の加工硬化領域の結晶粒は大幅に粗大化し硬度も低下（ビッカース硬度でHV450からHV310に低下）したのに対して、ナノ結晶の領域は、粒成長が極めて遅く、硬度低下も小さい（HV700からHV650に低下）ことが確認できた。このような加熱による再結晶挙動からもナノ結晶の領域の生成を確認することができる。

次に実施例2について説明する。

本発明方法を実施するための装置として第2実施例を概略図として図2に示す。この落錘加工装置20により金属製重錘21を、対象とする金属製品22の表面に自然落下させて両者を衝突させ、落錘加工法で加工処理するものである。その際の加工条件及び処理結果を後述の表1に示す。なおこの落錘加工装置20は表面22Aにナノ結晶を生成させるための金属製品22が図示されない筒体の底部に配置される。

ここで金属製品22は既に最終の製品形状に加工されたものであり、また金属製品22の外側形状と図示されない筒体の内側形状は略同形状になっていて、金属製品22は筒体の中で遊動できないようになっている。筒体の上部の中に

は金属製重錘21が配置されている。そして、この金属製重錘21の表面には後述する突起21Aが1個形成されていて、その高さ位置は金属製品22の表面22Aから所定の高さ(3mm)だけ上方に突出されている。またこの突起21Aは、金属製品22の表面22Aのうち、ナノ結晶を生成すべき箇所をターゲットにして、それと対向する金属製重錘21の表面箇所に形成されている。

この状態にある金属製重錘21を自然落下させる。その結果、金属製重錘21の突起21Aは金属製品22の表面22Aの所定部分に衝突する。この時、金属製重錘21の質量M(Kg)とすると、当該金属製重錘21が金属製品22の表面に衝突するときの速度V(m/sec)は $\sqrt{2gh}$ (gは重力加速度)になる。

すなわち、金属製重錘21の突起21Aは、 $M \cdot \sqrt{2gh}$ (Kg·m/sec)の運動量をもって金属製品22の表面22Aに衝突する。その結果、上記した運動量の時間的変化である力が1個の突起21Aを介して金属製品22の衝突箇所に作用する。そして、衝突は瞬時に終わるので衝突箇所の応力は非常に強くなる。すなわち、金属製品22の前記衝突箇所は突起21Aにより小さい面積が極めて短時間で強加工された状態になり、ナノ結晶が進むことになる。

ここで上記した単位面積当たりの仕事率、すなわち、重錘圧痕面積すなわち接触面積あたりの仕事率は、本実施の試験結果より 11k J/sec·mm<sup>2</sup>であることが必要である。

単位面積当たりの仕事率であるから、蓄積された運動量が重要ではない。単位面積当たりの仕事率が 11k J/sec·mm<sup>2</sup>より小さい場合には、金属製品22の表面22Aにおけるナノ結晶は生起しない。すなわち突起21Aが 11k J/sec·mm<sup>2</sup>以上の単位面積当たりの仕事率で金属製品22の表面22Aに衝突するとき、その衝突箇所のナノ結晶を生起することができる。

なお突起21Aとしては、金属製重錘21の表面21Aから 1~10mm の高さ(h)で突出する半球形状をした球状突起であることが好ましい。また橜円形状をした突起でもよい。さらに、ナノ結晶化をすべき金属製品22の表面箇所が複数である場合、この突起21Aは前記表面箇所をターゲットとして表面21Aの対応箇所に複数箇所形成されていてもよい。

ところで、上記した運動量は金属製重錘21の質量(M)と衝突時の速度(V)との関数である。本発明者の実験によれば突起21Aが高さ 1~10mm の球状突起であり、しかもそれが1個形成されている金属製重錘21を用いた場合、当該金属製重錘21の質量(M)を 0.1~10Kg に設定し、1m/sec 以上の速度で衝突させることにより、接触面積当たりの仕事率は 11k J/sec·mm<sup>2</sup>以上になりナノ結晶化を実現することができた。

突起21Aが複数個形成されている金属製重錘21を用いる場合には、その

金属製重錘 21 の質量を、突起 21A が 1 個の場合の質量 (0.1 ~ 10 Kg の範囲) に突起 21A の個数を乗じた値に設定し、それを 1 m/sec 以上の速度で金属製品 22 の表面 22A に衝突させればよい。全ての突起 21A の圧痕面積の総和と変形時間で運動量を除して得た値は上記した 11 kJ/sec · m<sup>2</sup> 以上の接触面積当たりの仕事率を満足しているので、各突起の衝突箇所におけるナノ結晶化が進行する。

次に実施例 3 について説明する。

本発明を実施するための装置の第 3 実施例を概略図として図 3 に示す。このショットピーニング装置 30 により直径 50 μm のスチールショット材からなるショット材 31 を、対象とする金属製品 32 に向けて圧縮空気と共に噴射ノズル 33 から投射させるショットピーニング法で加工処理をするものであり、その際の加工条件及び処理結果を後述の表 1 に示す。なおこの実施例では第 1 実施例、第 2 実施例に比較して単位面積当たりの仕事率が劣ることがわかる。

この場合、ショット材 31 の金属製品への投射速度が 150 ~ 200 m/sec になるように圧縮空気を調節する。また金属製品 32 の全面について加工処理を行う場合には、金属製品 32 を移動させることにより、全面にショット材 31 が衝突するようにする。これによって金属製品 32 の表面部には結晶粒径が、100 nm 以下の微細結晶からなる層が形成された。この微細結晶からなる層は、硬度も大幅に上昇したものとなった。図 4 に本発明の第 3 実施例により生成した表面層の断面写真、図 5 に本発明の第 3 実施例により生成した結晶微細化部の拡大写真を示す。

以上のように第 3 実施例によって加工処理された金属製品 32 は表面部に、微細結晶からなる層が形成されるため、表面硬度が極めて大きくなる。したがって金属製品 32 は強度が向上し、疲労強度や耐久性の優れたものとなる。

次に実施例 4 について説明する。

本発明を実施するための装置の第 4 実施例を第 3 実施例同様の図 3 を概略図として示す。図 3 は、ショットピーニング装置 30 により直径 50 ~ 300 μm のステンレスショット材からなるショット材 31 を、対象とする金属製品 32 に向けて圧縮空気と共に噴射ノズル 33 から投射させるショットピーニング法で加工処理をするものであり、その際の加工条件及び処理結果を後述の段落 0031 の表 1 に示す。なおこの実施例では第 1 実施例、第 2 実施例に比較して単位面積当たりの仕事率が劣ることがわかる。

この場合、ショット材 31 の金属製品への投射速度が 80 m/sec になるように圧縮空気を調節する。また金属製品 32 の全面について加工処理を行う場合

には、金属製品32を移動させることにより、全面にショット材31が衝突するようとする。これによって第3実施例と同様に金属製品32の表面部には、結晶粒径が100nm以下の微細結晶からなる層が形成された。この微細結晶からなる層は、硬度も大幅に上昇したものとなった。

なお、ショット材としてステンレス製ショットのみではなく、高炭素鋼製ショット、鉄系金属ガラス製ショットも適用可能であり、また、ショットの粒径としては30～2000μmの範囲のものも適用可能である。

以上のように第4実施例によっても加工処理された金属製品32は表面部に、微細結晶からなる層が形成されるため、表面硬度が極めて大きくなる。したがって、第3実施例の場合と同様に金属製品32は強度が向上し、疲労強度や耐久性の優れたものとなる。一般に金属製品にショットピーニングによる加工処理を施すと、その表面部に加工硬化が生じるが、この加工硬化は転位密度の平方根に比例することが知られている。金属製品に対する加工処理を継続してゆくと、結晶に生じる転位同士の合体消滅の速度も大きくなるので加工硬化の割合は加工量が増加すると次第に小さくなる。しかしながら、高ひずみ速度で金属製品を強加工すると、結晶の転位が消滅することなく、転位密度は高い値に達する。そして転位密度がある臨界値に達すると、転位セル組織が粒界構造に変化する。

また、金属製品の表面を常温以下マイナス150℃以上の冷却温度に調整しながら前記ショット材・衝突物の投射を行うことにより、金属表面の微細化がより進んだ。結晶の転位はショット材・衝突物の衝突が継続することにより温度が上昇すると回復速度が高くなるため、この場合は再結晶が発生する臨界転位密度まで蓄積されにくいが、低温領域においては、ショット材・衝突物の衝突によって微細化された結晶組織の回復が遅くなるために転位密度が蓄積され易い。すなわち、微細結晶化が生じる臨界転位密度に到達しやすくなる。この場合、液体窒素（温度-196℃）や液化炭酸ガス（温度-79℃）等を用いて金属製品を冷却することができ、金属製品を構成する材質に応じて、常温から-150℃程度の間で適宜最適温度に冷却する事が好ましい。これによつて、室温でショット材・衝突物を衝突させた場合と比べ、より多くの微細化結晶が生成する。

### 産業上の利用可能性

本発明は、金属表面に1μmより小さい粒径の結晶粒を発生させる金属表面の微細化方法及びその金属製品に関するため、金属製品の疲労強度や硬度を上昇させることができ、かつ耐食性の向上を図ることができるので産業上の利用可能性は大きい。

表1 各種加工法による加工条件

	粒子衝撃法	落錘法	ショットピーニング法
ボール、粒子径 $\phi$ (mm)	4	6	0.05
ボール、粒子速度 (m/s)	120	4.4	190
1回の加工エネルギー (J)	1.9	49	$9.2 \times 10^{-6}$
変形深さ ( $\mu m$ )	500	1000	5
接触面積 ( $mm^2$ )	6.3	19	$7.9 \times 10^{-4}$
変形時間 (s)	$4.2 \times 10^{-6}$	$2.3 \times 10^{-5}$	$2.6 \times 10^{-8}$
歪速度 (/s)	$2.4 \times 10^5$	$4.4 \times 10^4$	$3.8 \times 10^7$
仕事率/接触面積 (kJ/s $\cdot$ mm $^2$ )	72	11	450

## 請 求 の 範 囲

1. ショット材・衝突物を金属製品の表面に対して単位面積当たりの仕事率を調整して投射又は衝突させて、前記金属製品の表面部に  $1 \mu\text{m}$  より小さい粒径の結晶粒を発生させることを特徴とする金属表面の微細化方法。
2. 前記ショット材・衝突物が高炭素鋼材、鉄系金属ガラス材又はステンレス材のいずれかであり、直徑が  $30 \sim 2000 \mu\text{m}$  であることを特徴とする請求項 1 に記載の金属表面の微細化方法。
3. 前記単位面積当たりの仕事率が、  $11 \text{ k J/sec} \cdot \text{mm}^2$  よりも大きいことを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 のいずれかに記載の金属表面の微細化方法。
4. 前記金属製品の表面を常温以下マイナス  $150^\circ\text{C}$  以上の冷却温度に調整しながら前記ショット材・衝突物の投射を行う請求項 1 から請求項 3 のいずれかに記載の金属表面の微細化方法。
5. 前記単位面積が、1個当たりのショット材・衝突物の接触面積に衝突個数を乗じて得た面積であることを特徴とする請求項 1 から請求項 4 のいずれかに記載の金属表面の微細化方法。
6. 前記ショット材・衝突物の接触面が重なり合う場合には、ショット材・衝突物の接触面が重なり合う回数により前記単位面積を除して得た面積を使用することを特徴とする請求項 5 に記載の金属表面の微細化方法。
7. 請求項 1 から請求項 6 に記載の金属表面の微細化方法により金属表面部を硬化させたことを特徴とする金属製品。

1/2

Fig. 1

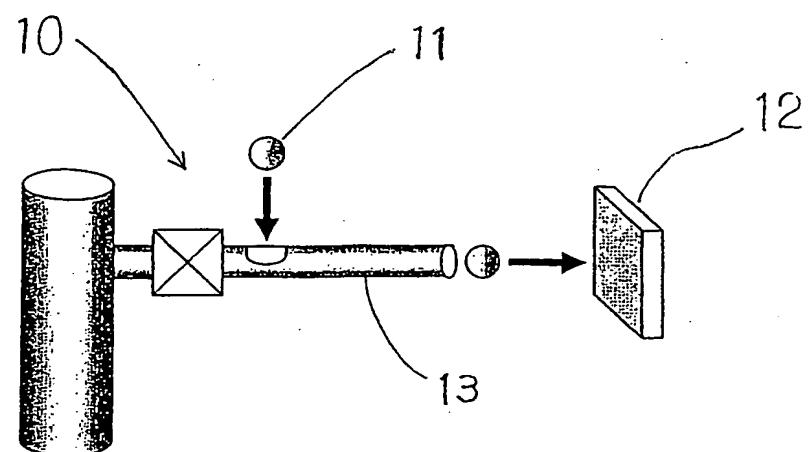


Fig. 2

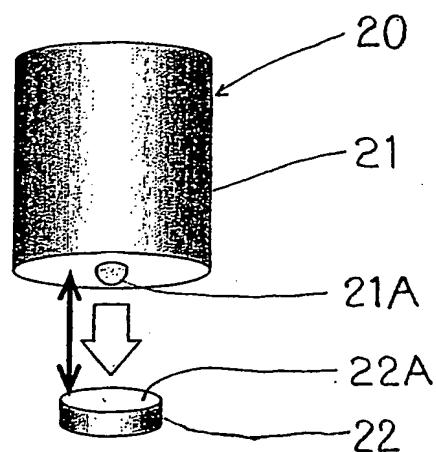
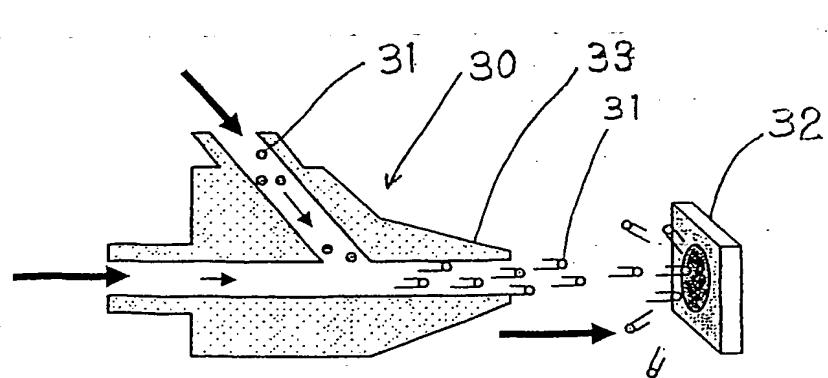


Fig. 3



2/2

Fig. 4

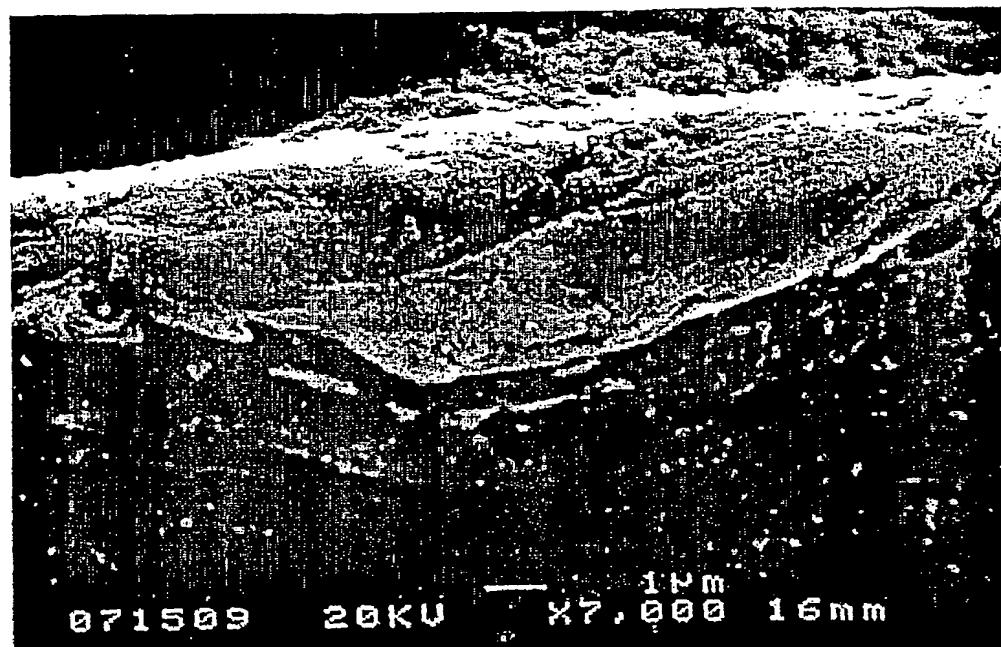
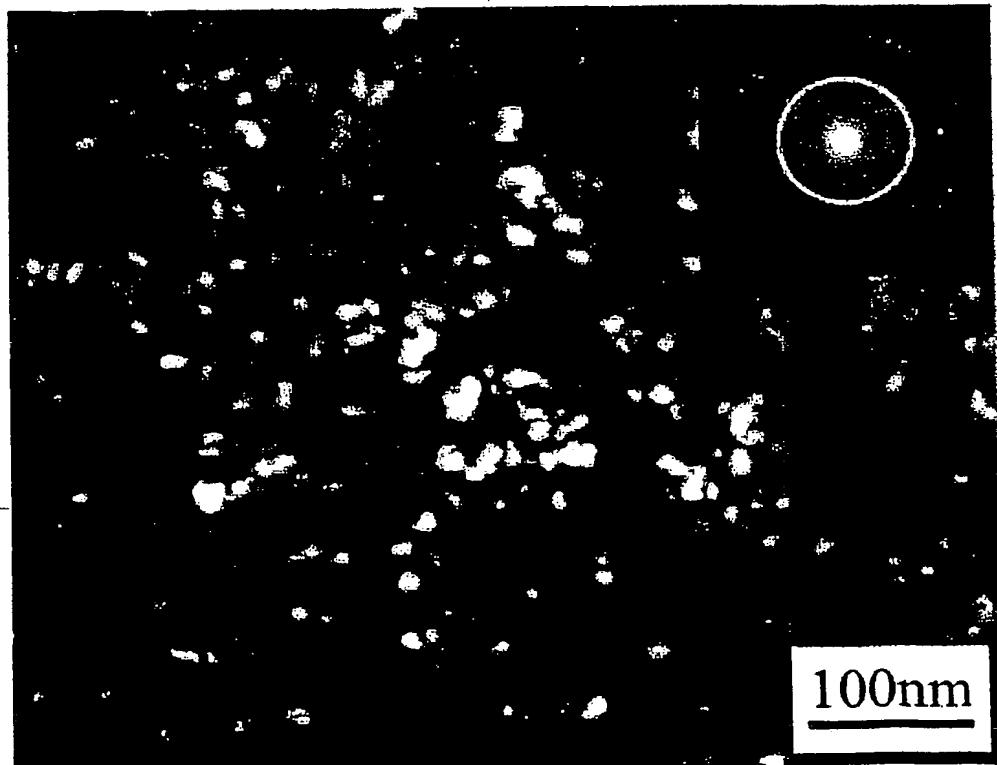


Fig. 5



## A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int. C17 C21D7/06, B24C1/10

## B. 調査を行った分野

## 調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int. C17 C21D7/04, 7/06, B24C1/00-1/10

## 最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年

## 国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 8-1514 A(株式会社東芝) 1996.01.09 第3欄第4-22行(ファミリーなし)	1-7
A	JP 1-240615 A(日産自動車株式会社) 1989.09.26 特許請求の範囲(ファミリーなし)	4
A	JP 2000-94330 A(新東工業株式会社) 2000.04.04 特許請求の範囲(ファミリーなし)	3, 5, 6
A	WO 02/9908 A1(新東工業株式会社) 2002.02.07 特許請求の範囲&EP 1306165 A1&US 2003-5736 A1&JP 2002-36115 A	2

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

## の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 26. 03. 2004	国際調査報告の発送日 13. 4. 2004
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号 100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	特許庁審査官（権限のある職員） 小川 武 4K 9270

電話番号 03-3581-1101 内線 3435

C (続き) 関連すると認められる文献		関連する 請求の範囲の番号
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	
X	梅本実"ショットピーニングなどの表面処理と結晶粒微細化"日本熱処理技術協会大会講演概要集 Vol. 55 P. 47-48	1-7
X	梅本実ら"鉄鋼材料のボールミルによるナノ結晶化機構の解明とそのバルク材表面ナノ結晶化への応用"粉体粉末冶金協会講演概要集 Vol. 2002 秋季 P. 158	1-7
X	Liu G et. al "Low carbon steel with nanostructured surface layer induced by high energy shot peening" Scr Mater Vol. 44 No. 8/9 P. 1791-1795	1-7

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/16669

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
Int.Cl<sup>7</sup> C21D7/06, B24C1/10

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> C21D7/04, 7/06, B24C1/00-1/10

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched  
 Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004  
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 8-1514 A (Toshiba Corp.), 09 January, 1996 (09.01.96), Column 3, lines 4 to 22 (Family: none)	1-7
A	JP 1-240615 A (Nissan Motor Co., Ltd.), 26 September, 1989 (26.09.89), Claims (Family: none)	4
A	JP 2000-94330 A (Sinto Kogyo Ltd.), 04 April, 2000 (04.04.00), Claims (Family: none)	3,5,6

Further documents are listed in the continuation of Box C.  See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"E" earlier document but published on or after the international filing date	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	"&" document member of the same patent family
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 26 March, 2004 (26.03.04)	Date of mailing of the international search report 13 April, 2004 (13.04.04)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.  
PCT/JP03/16669

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 02/9908 A1 (Sinto Kogyo Ltd.), 07 February, 2002 (07.02.02), Claims & EP 1306165 A1 & US 2003-5736 A1 & JP 2002-36115 A	2
X	Minoru UMEMOTO "Shot Peening nado no Hyomen Shori to Kessho Ryubisaika", The Japan Society for Heart Treatment Taikai Koen Gaiyoshu, Vol.55, pages 47 to 48	1-7
X	Minoru UMEMOTO et al., "Tekko Zairyo no Ball Mill ni yoru Nano Kesshoka Kiko no Kaimei to sono Bulk-Zai Hyomen Nano Kesshoka heno Oyo", Japan Society of Powder and Powder Metallurgy Koen Gaiyoshu, Vol.2002, Shuki page 158	1-7
X	Liu G. et al., "Low carbon steel with nano structured surface layer induced by high energyshot peening", Scr.Mater, Vol.44, No.8/9, pages 1791 to 1795	1-7